



Sähkötehon riittävyyden varmistaminen 2023-2030

Asko Vuorinen
Ekoenergo Oy

12.10.2022

Vuoteen 1995 asti oli Sähköntuottajien Yhteistyövaltuuskunta STYV

STYVIN OHJEET 1984

- Voimalaitoskapasiteettia tulee olla 14 % reservissä, kun pakkasta on -15 astetta
- Olin STYVin kapasiteettiryhmän jäsenenä 1984

TEHOTILANNE

VUOSI	1984	1995	2006
- Voimalakapasiteetti	10 115	13 340	13 650
- Huippukuorma	8 840	10 140	13 508
- Erotus	+1275	+3 200	+ 142
- Prosenttia huipputehosta	14 %	32 %	1%
- Kapasiteetin kasvu		+3225	+210

UUSI SÄHKÖMARKKINALAKI 1995

- **TEHON RAKENTAMISILLE EIVELVOTTEITA**
 - “näkymätön käsi” huolehtii tehontarpeesta
 - STYV lakkautettiin
- **VOIMALAITOKSIA RAKENNETTIIN**
 - 1984 – 2000 rakennettiin 300 MW/a
 - 2000 – 2006 purettiin 190 MW/a
 - 2006 - 2022 purettiin 300 MW/a

Tehopula vuonna 2006

HELMIKUUSSA 2006 PELÄTTIIN SÄHKÖKATKOJA

- Varatehot olivat nollassa helmikuussa
- EON-Finland varoitti, että voivat joutua leikkaamaan kuormia Espoossa ja Kirkkonummella

WÄRTSILÄ LÄHETTI KTM:LLE EHDOTUKSEN, MITEN SÄHKÖPULA VOIDAAN ESTÄÄ

- Rakennetaan nopeasti 600 MW lisää tehoa tekemällä
12 kpl 50 MW kaasu/dieselvoimalaa hajautetusti
- Valtiovalta järjestää huutokaupan

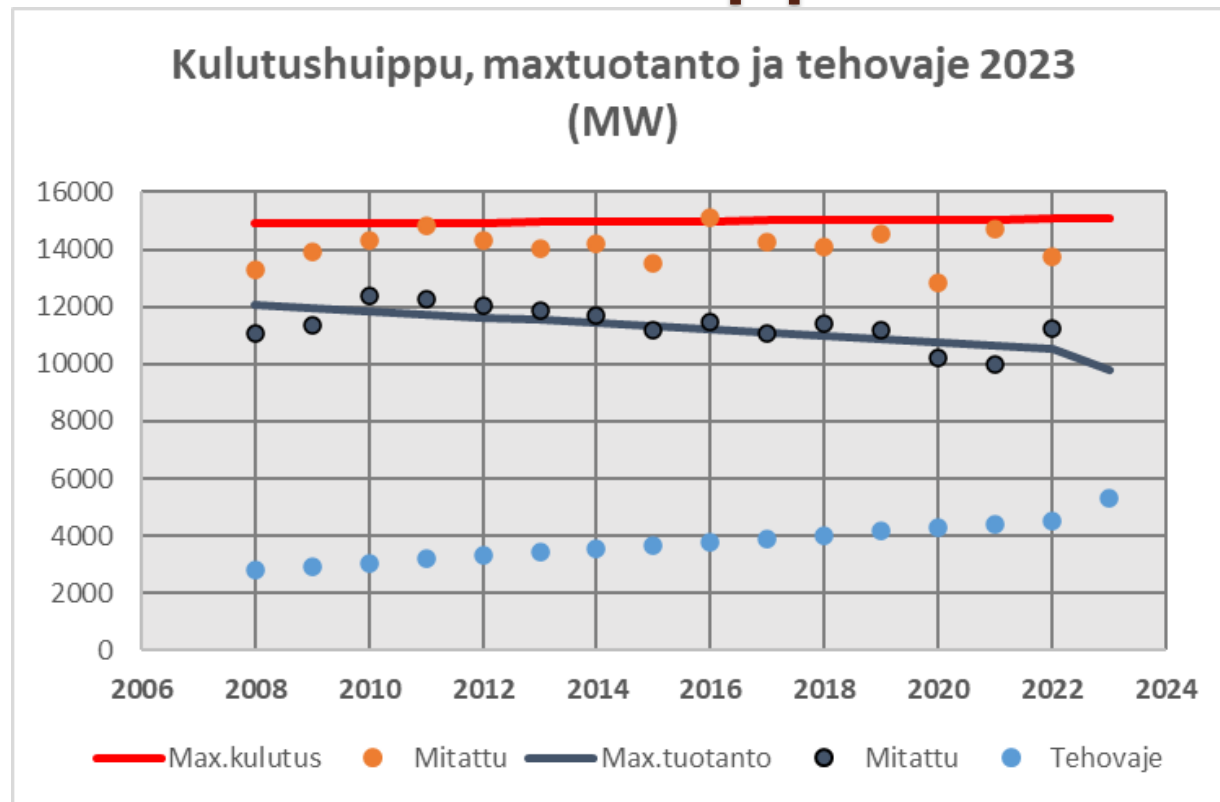
TEHORESERVILAKI 2007

- Kauppa- ja teollisuusministeri Mauri Pekkarinen laittoi tehoreservilain vireille
- Laki astui voimaan 2007 tammikuussa
- Lain mukaan on varattu 600 MW sähkötehoa tehoreserveiksi 2007-2022
- **Vuonna 2022 ei saatu yhtään kelvollista tarjousta**



Tehotilanne vuonna 2023

Sähkön kulutushuippu ja tuotantohuippu



Sähkön kulutushuippu voi olla 15.200 MW joka 20. talvi
Tehoa on käytettävissä noin 10.200 MW (sivu 9)
Tehovajaus on noin 5000 MW

Todennäköinen teho

Tehotase 2023	Teho A MW	Luku B MW	Teho C MW	Epäluottettavuus		Nettoteho	
				D %	E MW	F=A-E MW	F/A %
Vesivoima	1 711	1	1711	2 %	34	1 677	98 %
Tuulivoima	1 711	1	1711	50 %	856	856	50 %
Ydin (Loviisa)	1 014	2	507	2 %	20	994	98 %
Ydin (OL1 ja 2)	1 780	2	890	2 %	36	1 744	98 %
Ydin (Ol3)	1 600	1	1600	20 %	320	1 280	80 %
CHP teollisuus	1 400	50	28	5 %	70	1 330	95 %
CHP kaukolämpö	2 500	50	50	5 %	125	2 375	95 %
Meripori	550	1	550	2 %	11	539	98 %
Yhteensä	12 266				1472	10 795	88 %
Pohja	7 816			16 %	1 266	6 551	84 %
Keski	4 450			5 %	206	4 244	95 %
Yhteensä	12 266			12 %	1 472	10 795	88 %

90 % varmuudella saatava teho

Tehotase 2023	Varianssi $G=Bx(1-D)xDxCxC$ MWxMW	Epävarmuus F^* MW	Varma teho $G=A-C-F$ MW	H G/A %
Vesivoima	23	0	1 677	98 %
Tuulivoima	183 004	474	382	22 %
Ydin (Loviisa)	16	0	994	98 %
Ydin (OL1 ja 2)	50	0	1 744	98 %
Ydin (OL3)	16 384	42	1 238	77 %
CHP teollisuus	11 638	30	1 300	93 %
CHP kaukolämpö	37 109	96	2 279	91 %
Meripori	2	0	539	98 %
Yhteensä	248 226	643	10 152	83 %

* Neliöjuuri (Varianssi) x 1,29 = 625

Pohja

6 034

Epävarmuus jaettu varianssien suhteessa

Keski

4 118

Varianssi = $N \times E \times (1-E) \times \text{Yksikkö koko}$, missä E=epäluotettavuus

Epävarmuus = 1,29 x neliöjuuri (Varianssi) = 625 MW

Tehovaje 2023

Pohjavoimaa 6.100 MW

Keskivoimaa 4.100 MW

90 % varma teho 10.200 MW

Tarvittava teho -15.200 MW

Reserviteho - 5.000 MW
- 33 %

Lisätehon jako

Tehoase 2023	Sähkön tuotanto TWh	Tehon tarve * MW	Varma teho G=A-C-F MW	Lisätehon tarve MW	Teho yhteensä MW
Vesivoima	15,1	2922	1 677	1245	2 922
Tuulivoima	14,8	2864	382	2482	2 864
Ydin (Loviisa)	8,1	1570	994	576	1 570
Ydin (OL1 ja 2)	14,2	2755	1 744	1011	2 755
Ydin (Ol3)	13,1	2535	1 238	1297	2 535
CHP teollisuus	8,4	1625	1 300	326	1 625
CHP kaukolämpö	4,3	832	2 279	-1447	832
Meripori	0,5	97	539	-442	97
Yhteensä	78,6	15 200	10 152	5048	15 200

*Tehon tarve=Tuotanto/5800 h

a) Kapasiteettimarkkinat

I. Sähkön tuottajat tulee velvoittaa hankkimaan puuttuva kapasiteetti em. lisätehon tarpeen mukaisesti

- vesi- ja tuulivoima 3700 MW
- ydinvoimalat 2900 MW
- muut voimalat -1600 MW

Yhteensä 5000 MW

a) Kapasiteettimarkkinat

2. Järjestetään kapasiteettimarkkinat, jossa myydään ja ostetaan seuraavien 15 talven teho

3. Kapasiteettimarkkinat ovat toiminnassa

- USA:ssa vuodesta 2000
- Venäjällä vuodesta 2008
- Britanniassa vuodesta 2014 sopimukset 14 v
- Ranskassa vuodesta 2019 sopimukset 7 v
- Italiassa vuodesta 2020 sopimukset 15 v

b) Tehoreservien hankinta

Järjestetään huutokauppa tehoreserveistä

- ostetaan seuraavien 15-25 talven teho

Vaaditaan, että

- 1) laitokset hajasijoitetaan lämmityslaitosten ja teollisuuslaitosten tonteille
- 2) niiden on pystyttävä käynnistämään CHP-voimala, kun valtakunnan verkko on pimeänä
- 3) ne toimivat samalla säätösähkömarkkinoilla, jossa vaaditaan 10 minuutin starttiaikaa

Huippuvoiman kustannukset

INVESTOINNIT

Moottorivoimaa $5000 \text{ MW} \times 600 \text{ €/kW} = 3000 \text{ M€}$

VUOSIKUSTANNUKSET

Pääomakustannukset $7 \% 25 \text{ v} = 7,1 \% = 213 \text{ M€/a}$

Polttoaine $360 \text{ GWh} \times 100 \text{ €/0,45} = 80 \text{ M€/a}$

CO₂ $360 \text{ GWh} \times 0,55 \text{ kg/kWh} \times 90 \text{ €/t} = 18 \text{ M€/a}$

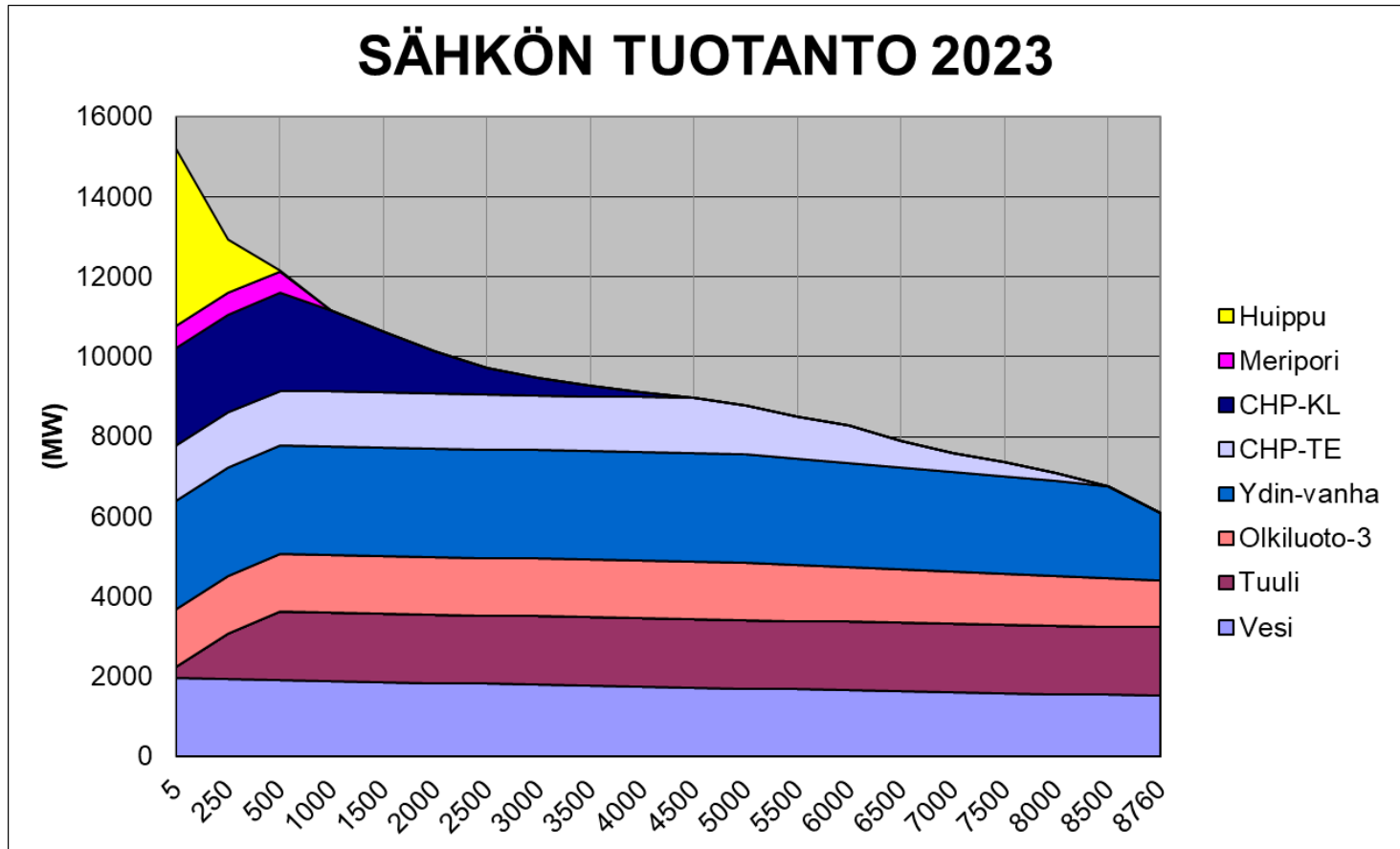
Käyttökustannukset $0,4 \text{ TWh} \times 10 \text{ €/MWh} = 4 \text{ M€/a}$

Vuosikustannukset $= 315 \text{ M€/a}$

Huippuvoiman hinta $315 \text{ M€} / 0,38 \text{ TWh} = 830 \text{ €/MWh}$

Lisäys sähkön hintaan $315 \text{ M€} / 80 \text{ TWh} = 4,0 \text{ €/MWh}$

Tuotantomäärät *



*Capacity Planning Program (Kirjasta: "Planning of Optimal Power Systems")

Sähköntuotannon kustannukset

Laitokset	Tuotanto TWh	Hinta €/MWh	Kustannus M€
Vesivoima	15,1	30	454
Tuulivoima	14,8	40	592
Olkiluoto 3	12,1	50	605
Vanha ydin	22,8	30	684
CPH-Teollisuus	8,8	50	439
CHP-Kaukolämpö	5,2	60	312
Meripori	0,5	200	102
Huippuvoima	0,36	887	315
Yhteensä	79,7	44,0	3503

Sähkön keskimääräiset kustannukset 2023

$$= 3503 / 80 = 44,0 \text{ €/MWh}$$



Dynaamisen kapasiteetin tarve

Olkiluoto 3 putoaminen

OLKOLUOTO 3 PUTOAA VERKOSTA – 1600 MW

- Kuormia kytkettävä irti heti +300 MW
- Tehosta tulee pyörivistä reserveistä + 1300 MW
- Josta tulee Ruotsista 900-1000 MW
- Rajajohdoissa tulee olla 900-1000 MW varaa

NOPEA VARAVOIMA PALAUTTAA TUONNIN

- 15 min. Fingridin kaasuturpiinit 1300 MW
- Toinen ydinvoimala voi pudota verkosta 15 min jälkeen

Säätösähkön tarve

SÄÄTÖSÄHKÖLLÄ PALAUTETAAN FINGRIDIN KAASUTURPIINIT POISKYTKETYT KUORMAT

- pyörivät tai seisovat reservit + 1600 MW
- Tehoa muutettava 10 minuutin sisällä

NOPEAT VOIMALAT (50 % / 50 % jako)

- Pyörivät reservit vesivoimalla + 800 MW
- Seisovat reservit kaasu/dieselmoottoreilla + 800 MW

WÄRTSILÄN DUALFUEL-MOOTTORIT

- Starttiaka on alle 5 minuuttia
- Olisi parempi, jos ne olisivat nopeina reserveinä
- Fingridin kaasuturpiinit voisivat olla säätövoimana

Säätötehon osto

SÄÄTÖTEHO

- Järjestetään tarjouskilpailu useaksi talveksi
- Näin on tehty Norjassa vuodesta 2000 lähtien

SÄÄTÖTEHON KÄYTTÖ

- Tarpeen mukaan tunneittain kuten nytkin

Yhteenveto

I. Voimalaitoskapasiteetista on noin 5000 MW vaje

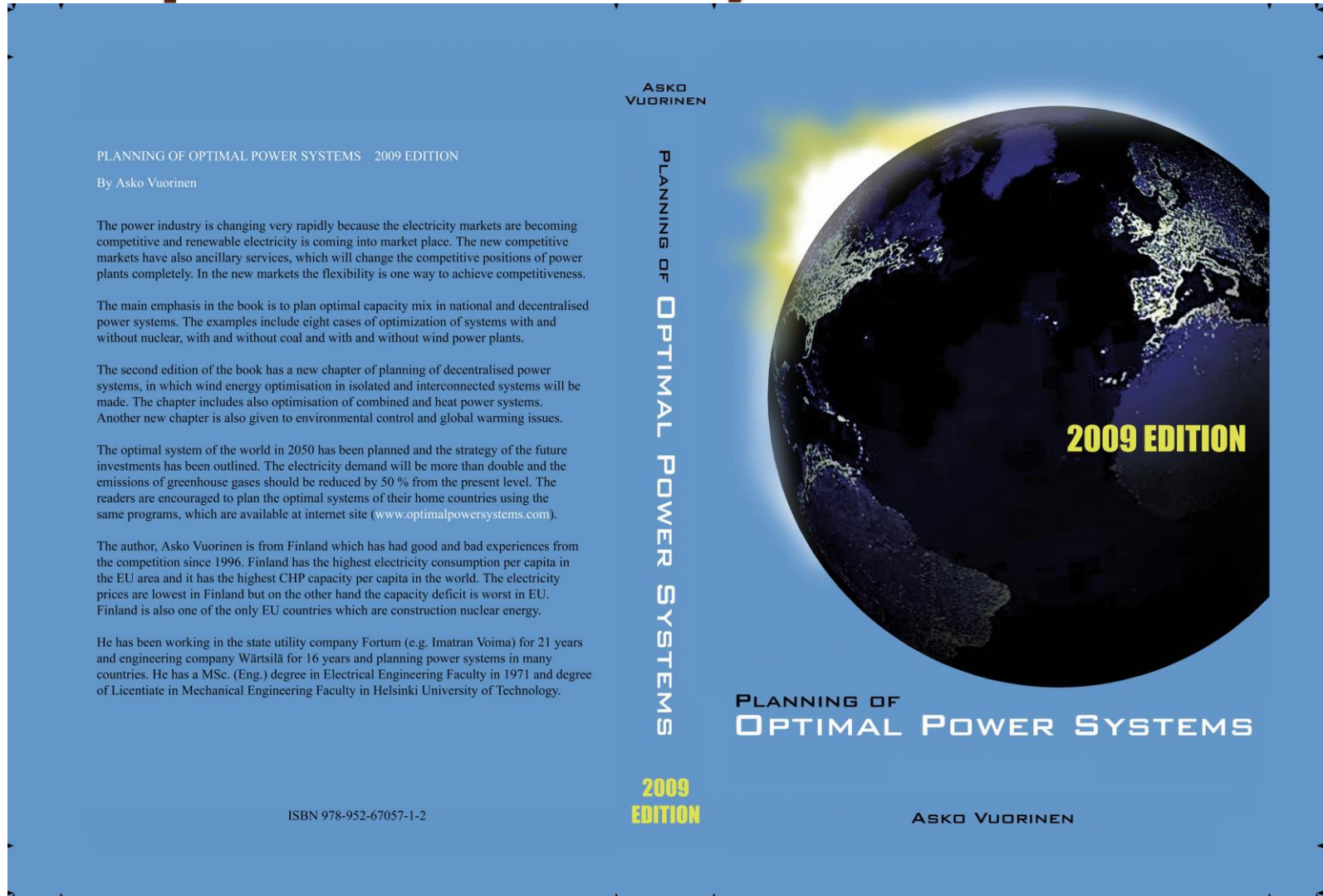
- Tuottajat tulee velvoittaa rakentamaan puuttuva kapasiteetti aiheuttamisperiaatteella
- Tulee siirtyä kapasiteettimarkkinoihin kuten USA:ssa ja Britanniassa
- Tai tehoa ostetaan 15 vuoden sopimuksella nykyisen tehoreservilain mukaisesti

Yhteenveto

2. Säättösähköä tarvitaan noin 1600 MW

- Pitää pystyä kattamaan Olkiluoto 3:n aiheuttama 1600 MW tehovaje
- Säättösähkötehon hankinnasta tarjouskilpailu tehoreservilain puitteissa
- Säättösähkön käyttö samoin kuin nytkin

Lähteenä kirja ”Planning of Optimal Power Systems”



Lähteenä kirja ”Planning of Optimal Power Systems”

Kirjoittaja Asko Vuorinen

Kirja julkaistu 2008

Käytetty kussikirjana Lappeenrannan yliopistossa (LUT) tohtorikurssilla 2011

Siihen liittyy kapasiteetin optimointiohjelma, jonka avulla voi optimoida koko maan sähköntuotantojärjestelmän kustannukset



Kiitokset mielenkiinnosta

KOTISIVUT **Ekoenergo.fi**